

Инженерная школа **неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **15.03.01 Машиностроение**
 Отделение **электронной инженерии**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка системы импульсного питания для аддитивных процессов наплавки

УДК 621.791.92:621.311.6:621:374

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В61	Гоголев Артем Дмитриевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселев А.С.	к.т.н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Т. Г.	Доцент, к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Першина А.А.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по программе

	Результат обучения
P1	Способность применять базовые и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире; умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности с целью моделирования объектов и технологических процессов в машиностроении, приборостроении и др. областях, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования продукции.
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий.
P3	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования, уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки.
P4	Способность эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей, в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.
P5	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, осведомленность в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на машиностроительных и строительно-монтажных производствах.
P6	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности на предприятиях машиностроительного, строительно-монтажного комплекса и в отраслевых научных организациях, участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности, основанные на систематическом изучении научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, проведении патентных исследований
P7	Умение проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий производств.
P8	Умение применять стандартные методы расчета деталей и узлов машиностроительных изделий и конструкций, выполнять проектно-конструкторские работы, составлять и оформлять проектную и технологическую документацию соответственно стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования, выполнять работы по стандартизации, технической подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов, организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов, подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества на предприятии.

P9	Умение обеспечивать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий сварочного производства, осваивать новые технологические процессы производства продукции, применять методы контроля качества сварных швов и сварных конструкций
P10	Способность осваивать вводимое новое сварочное оборудование, проверять техническое состояние и остаточный ресурс действующего технологического оборудования и конструкций объектов, в случае необходимости обеспечивать ремонтно-восстановительные работы на производственных участках предприятия.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа **неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **15.03.01 Машиностроение**
 Отделение **электронной инженерии**

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

 (Подпись) 06.02.2020 (Дата) А.А. Першина (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1В61	Гоголеву Артему Дмитриевичу

Тема работы:

Разработка системы импульсного питания для аддитивных процессов наплавки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	06.02.2020,

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p style="text-align: center;">Процесс сварки неплавящимся электродом в аргоне</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Введение 2. Разработка технических требований 3. Разработка функциональной схемы 4. Разработка принципиальной электрической схемы 5. Экспериментальная часть 6. Финансовый менеджмент, ресурсо- эффективность и ресурсосбережение 7. Социальная ответственность 8. Заключение
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Функциональные требования 2. Принципиальная электрическая схема 3. Схема силовой части 4. Схема обратной связи 5. Экспериментальная часть 6. Менеджмент и социальная ответственность 7. Выводы по работе
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>1-5</p>	<p>Киселев А.С.</p>
<p>6</p>	<p>Трубченко Т.Г.</p>
<p>7</p>	<p>Гуляев М.В.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>-</p>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.02.2020
--	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселев Алексей Сергеевич	к.т.н., доцент		05.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В61	Гоголев Артем Дмитриевич		05.02.2020

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1В61	Гоголев Артем Дмитриевич

Инженерная кола	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	Электронной инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.01- Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя – 50400 руб. Оклад инженера – 31000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Премияльный коэффициент руководителя 30%; Премияльный коэффициент инженера 30% Районный коэффициент 30%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент на уплату во внебюджетные фонды – 28%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определение потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, SWOT анализ,
Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование этапов работы, определение календарного графика трудоёмкости работы, расчет бюджета.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка сравнительной эффективности исследования. Интегральный показатель ресурсоэффективности – 3,95 Интегральный показатель эффективности – 4,7 Сравнительная эффективность проекта – 1

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Оценка конкурентоспособности технических решений
Матрица SWOT
График проведения и бюджет НИ
Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Т. Г.	Доцент, к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В61	Гоголев Артем Дмитриевич		

Задание для раздела «Социальная ответственность»

Студенту:

Группа	ФИО
1В61	Гоголеву Артему Дмитриевичу

Инженерная школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	Электронной инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.01 «Машиностроение»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Разработка системы импульсного питания для автоматической дуговой наплавки в среде защитного газа аргона. Данная разработка является методом повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность	Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов: – Повышенный уровень шума на рабочем месте; – Повышенная температура или влажность воздуха помещения; – Повышенный уровень вибрации; – Недостаточная освещённость рабочей зоны; – Наличие открытых токопроводящих элементов, находящихся под напряжением; – Повышенная температура поверхностей оборудования.
3. Экологическая безопасность:	– анализ воздействия объекта на атмосферу, гидросферу и литосферу. – решение по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – Выбор наиболее типичной ЧС; – Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. – Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев М.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В61	Гоголев Артем Дмитриевич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа **неразрушающего контроля и безопасности**

Направление подготовки **15.03.01 Машиностроение**

Уровень образования **бакалавриат**

Отделение **электронной инженерии**

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.04.2020 г.	Введение	5
29.04.2020 г.	Разработка технических требований	15
07.05.2020 г.	Разработка функциональной схемы	15
10.05.2020 г.	Разработка принципиальной электрической схемы	15
20.05.2020 г.	Экспериментальная часть	25
24.05.2020 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и	10
29.05.2020 г.	Социальная ответственность	10
30.05.2020 г.	Заключение	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселев Алексей Сергеевич	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Реферат

Выпускная квалификационная работа 81 с., 15 рис., 19 табл., 13 источников.

Ключевые слова: аддитивная наплавка, импульсное питание, послойное выращивание, аргонодуговая сварка, модуляция тока.

Объектом исследования является: процесс сварки неплавящимся электродом в аргоне.

Предмет исследования – разработка импульсной системы питания для аддитивной наплавки изделия неплавящимся электродом с присадкой.

Цель работы – разработка системы импульсного питания для аддитивных процессов наплавки.

В процессе исследования разрабатывались технические требования к системе, проводился анализ способов сварки неплавящимся электродом с применением импульсного питания сварочной дуги.

В результате исследования разработана электрическая схема, с элементами обратной связи, которая способна управлять высотой дуги, в процессе наплавки на тело вращения. Также была разработана схема управления сварочным циклом, на основе тиристорного триггера. Собрана экспериментальная установка, которая включала в себя сварочную головку ОКА.1845 и усовершенствованный импульсный источник питания.

Основные конструктивные, технологические и характеристики: простое в эксплуатации оборудование, имеющий высокую надежность и широкий диапазон регулирования параметров, обеспечивающее в автоматическом режиме непрерывное послойное формирование изделия.

Область применения: данный способ сварки может применяться в разных отраслях: нефтяной, газовой промышленности и кораблестроении.

В будущем планируется минимизировать конструкцию сварочного аппарата, а также запатентовать данный способ сварки.

Определения, сокращения и нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Аддитивная наплавка – специализированный способ наплавки, при котором наплавленный слой является формообразующим, а последующие слои наплавляются непосредственно на нижележащий.

Сварочная ванна – слой расплавленного металла на поверхности свариваемых изделий, образующихся в процессе сварки.

Импульсное питание – подача импульсов с высокой величиной тока и частотой.

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы»
2. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация»
3. ГОСТ 12.1.012–2004 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования»
4. ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»
5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий" (с изменениями на 15 марта 2010 года)»
6. СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»

7. СН 2.2.4/2.1.8.566–96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы»
8. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*»
9. СанПиН 2.2.2.540-96 «Гигиенические требования к ручным инструментам и организации работ»
10. ГОСТ 12.1.005–88 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1)»
11. ГОСТ 12.1.035–81 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование для дуговой и контактной электросварки. Допустимые уровни шума и методы измерений»
12. СНиП 23-05-2010 «Естественное и искусственное освещение (с Изменением N 1)»
13. ГОСТ Р 12.1.019-2009 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
14. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014)
15. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681
16. ГОСТ 12.3.003-86 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы электросварочные. Требования безопасности (с Изменением N 1)»

В настоящей работе использованы следующие сокращения:

- АРНД – автоматическое регулирование напряжения дуги;
- I_d – ток дуги;
- U_d – напряжение на дуге;
- $I_{св}$ – сварочный ток;
- $I_{и}$ – ток импульса;
- $I_{п}$ – ток паузы;
- $T_{и}$ – период следования тепловых импульсов за счет тока;

- $t_{и}$ – полная длительность импульса;
- t_c – время паузы;
- H – глубина сварочной ванны;
- B – ширина сварочной ванны;
- L – длина сварочной ванны;
- V – объем сварочной ванны;
- $V_{св}$ – скорость сварки
- $ВAX$ – вольтамперная характеристика;
- L – индуктивность дросселя первой ячейки;
- C – емкость конденсатора первой ячейки.

Оглавление

Введение.....	17
1 Обзор литературы	19
1.1 Методы аддитивного производства	19
1.2 Использование дуги в качестве источника теплоты	23
1.3 Металлические материалы для аддитивных технологий.....	24
Выводы по разделу 1.....	26
2 Разработка технических требований оборудования для аргонодуговой сварки неплавящимся электродом.....	28
2.1 Технологические требования процесса наплавки	28
2.2 Характеристика системы источник питания - дуга	29
Вывод по разделу 2	31
3 Разработка функциональной схемы модулятора импульсов тока	32
Вывод по разделу 3	33
4 Разработка принципиальной электрической схемы	34
4.1 Разработка силовой части	34
4.2 Разработка схемы обратной связи	36
4.3 Разработка схемы управления сварочным циклом.....	37
5 Экспериментальная часть.....	41
5.1 Описание сварочной головки.....	41
5.2 Описание системы автоматики БАРС-2В.....	43
5.3 Эксперимент и его результаты	43
Выводы по разделу 5.....	45
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	46
6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	46
6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	46
6.1.2 Анализ конкурентных технических решений	47
6.1.3 SWOT – анализ	49

6.2 Планирование научно-исследовательской работы	51
6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	51
6.2.2 Разработка графика проведения научного исследования	52
6.3 Бюджет научно-технического исследования	55
6.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	55
6.3.2 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы	56
6.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) ...	57
6.3.4 Накладные расходы.....	58
6.3.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	59
6.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	60
7 Социальная ответственность	64
7.1 Введение.....	64
7.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	65
7.3 Производственная безопасность.....	67
7.3.1 Отклонение показателей микроклимата	68
7.3.2 Уровень шума на рабочем месте	69
7.3.3 Освещенность рабочей зоны.....	70
7.3.4 Электрический ток	73
7.3.5 Движущиеся часть установки для сварки неплавящимся электродом.....	74
7.4 Экологическая безопасность.....	75
7.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	77
Заключение.....	79
Список использованных источников	80

Введение

Использование дуги как источник тепла в аддитивном производстве является наиболее перспективным выбором [1-3], так как это может повысить производительность процесса и качество получаемых деталей, при этом снизить затраты на оборудование и расходные материалы.

Для изготовления деталей сложных геометрических форм, либо сложного состава становится выгоднее использовать аддитивное производство. Перспективным направлением считается развитие лазерных технологий с использованием металлпорошковых материалов. Данный способ позволяет получать детали с высокой точностью и минимальным отходом материала. Этим способом без особой сложности возможно получать детали сложной геометрии, при этом разработка аддитивного процесса занимает меньшее время и трудоёмкость.

Несмотря на достоинства лазерной наплавки существует ряд недостатков, связанных с производительностью, качеством получаемых деталей, дороговизной оборудования и материалов. Существуют методы увеличения эффективности, которые в той или иной степени повышают производительность и улучшают процесс, но имеются существенные трудности в их практическом применении. В частности, их применение затруднительно при наплавке проволоки лазерным лучом, так как возникают вопросы, связанные с различными технологическими задачами, направленными на получение качественной геометрии детали.

Исследованиями по изучению аддитивных технологий с использованием дуги в качестве тепла занимались Трушников Д.Н., Щицын Ю.Д., Белинин Д.С. и т.д. В их работах показана целесообразность применения в качестве источника нагрева дуги и проволоки в качестве присадочного материала.

Объектом исследования является: процесс сварки неплавящимся вольфрамовым электродом в аргоне.

Предмет исследования – модулятор сварочного тока.

Научная новизна исследования состоит в том, что в работе применён способ сварки в импульсном режиме с автоматическим переходом от слоя к слою за счёт автоматического регулятора напряжения дуги.

Практическая значимость полученных результатов состоит в использовании передовых технологий, с помощью которых можно добиться снижения затрат на производство и повысить качество продукции.

Целью данной работы будет являться разработка системы импульсного питания для аддитивной наплавки неплавящимся электродом в среде аргона с присадкой в виде проволоки. Для достижения поставленной цели в выпускной квалификационной работе поставлены следующие задачи:

- произвести анализ современного состояния аддитивного производства деталей;
- описать требования к оборудованию;
- разработать схему модулятора тока;
- разработать специальную установку;
- провести экспериментальную проверку.

1 Обзор литературы

1.1 Методы аддитивного производства

При аддитивном методе производство изделий выполняется послойным формированием, т.е. для построения последующего слоя надо нанести предыдущий. Аддитивное производство будет предпочтительнее в условиях единичного и мелкосерийного производства при изготовлении уникальных изделий, когда стоимость механической обработки велика или деталь не обрабатывается должным образом. Так же следует отметить, что аддитивные технологии находят применение не только в изготовлении сложных по конструкции изделий, но также в их ремонте и восстановлении [3]. Применение аддитивных технологий, или технологий послойного синтеза для изготовления металлических конструкций позволяет значительно снизить время, затрачиваемое на решение задач технологической подготовки производства и выпуска готовой продукции [4].

В настоящее время разработано множество технологий, позволяющих производить трёхмерные изделия. Одним из самых перспективных направлений получения изделий по средствам аддитивных технологий является метод селективного лазерного спекания (SLS) порошковых материалов для получения конечных деталей или заготовок для дальнейшей чистовой обработки [2].

Аддитивные технологии подразумевают под собой изготовление детали методом послойного выращивания исходного материала, в отличие от традиционного метода, в котором формирование детали будет происходить за счёт удаления материала из заготовки.

Так как образование детали происходит послойным выращиванием, все технологические операции возможно описать при помощи одной CAD-модели. Это потребует меньших временных затрат по сравнению с традиционной документацией, где каждый технологический переход необходимо описывать параметрами и режимами обработки.

Развитие технологии объясняется большим спросом во многих сферах, начиная от кондитерских изделий и заканчивая высокотехнологическими деталями авиационной, атомной и космической промышленности, поэтому особое внимание уделяется развитию технологий непосредственного выращивания из металла.

Для производства деталей послойным выращиванием из металла необходимо опираться на передовые знания по металлургии и материаловедению, электронике, механике, лазерной технике, а также сварке.

На рисунке 1.1 изображена схема процесса селективного лазерного спекания, где используются порошковые материалы, которые под действием лазерного луча послойно спекаются, образуя готовую деталь. [4]



Рисунок 1.1 – Конструкция установки для селективного лазерного спекания [2]

Принцип работы установки следующий: в установку засыпается подготовленный порошок, откачивается воздух, загружается необходимая 3D модель детали или изделия и выполняются все необходимые для протекания процесса установки. Порошок разогревается до температуры, близкой к

плавлению, разравнивается, и лазер спекает порошок по необходимому заданному контуру. Частицы порошка плавятся и спекаются между собой и с предыдущим наплавленным слоем в месте контакта луча и порошка. Затем наплавленная часть изделия вместе с платформой опускается на толщину одного слоя, в камеру насыпается новый слой порошка, подготавливается, и процесс повторяется. По завершению работы получается готовая деталь или рабочий узел. После изъятия готового изделия, из камеры полностью удаляют порошок для его последующего просеивания или для смены материала и установка снова готова к работе, т.е. цикл повторяется. Минимальная толщина слоя — 0,1–0,15 мм, а скорость печати - до 35 мм/час. [3]

Обычно такие детали имеют закалочные структуры и непровары, поэтому после получения детали необходимо произвести спекание в специальных печах.

За счёт того, что спеченный материал и порошок имеют чёткую границу, порошок не загрязняется и его можно использовать повторно. Это является первым преимуществом позволяющим экономить материал [5]. Также можно выделить:

- высокую точность наплавки;
- относительную легкость процесса;
- неограниченная возможность геометрии процесса;
- Большой выбор материалов.

Помимо этого, технология селективного лазерного сплавления имеет ряд недостатков, ограничивающих его использование, это:

- ограничение в использовании только порошкового материала,
- необходимость создания вакуума или инертной среды большого объема для некоторых материалов,
- малая производительность и большое время подготовки установки к работе,
- возникновение пор и шероховатости в результате не полного расплавления порошка и высокой сыпучести материала.

Существует второй вид аддитивных технологий – Direct Deposition, показанный на рисунке 1.2, отличающийся методом формирования слоя. В этом методе не используется формовочный слой, а происходит непосредственная подача формируемого материала в место подвода энергии. В области формирования детали образуется зона расплава, которая затвердевает при охлаждении.

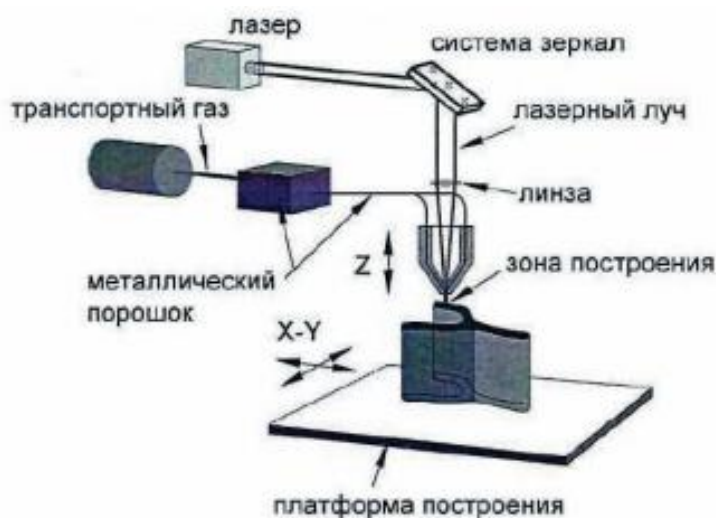


Рисунок 1.2 – технология Direct Deposition [2]

Подача материала производится по большой площади наплавления и практически весь порошок проходит через зону термического влияния, нагревается и окисляется, что усложняет вторичное использование материала. Соответственно способу характерен большой расход материала при использовании порошка.

Однако этот метод позволяет использовать и проволоку в качестве присадки. Это одно из ключевых преимуществ данного метода.

Геометрические возможности процесса ограничены передвижением головки в одной плоскости с небольшими углами поворота и способностью материала прилипать к поверхности.

Однако это более производительный процесс, чем bed deposition. Ему характерен более высокотемпературный расплав. Полученные детали обладают большим качеством, прочностью, более однородной структурой.

1.2 Использование дуги в качестве источника теплоты

Формирование металлических изделий использованием оплавления проволочного материала является ключевым вектором развития аддитивных технологий. Данное решение позволяет избавиться от проблем, связанных низкой производительностью существующих методов, высокой стоимостью применяемого оборудования, ограниченностью типов применяемых материалов, обусловленной традиционным использованием в качестве исходного материала для аддитивного формирования изделий порошковых систем, оплавляемых мощным тепловым источником [7]. Потенциал развития технологии формирования деталей оплавлением проволоки очень велик и в настоящее время в мире еще полностью не раскрыт.

Известны примеры установок, в которых изготовление детали происходит в вакууме с использованием электронного луча, что оказывается весьма производительным решением применительно к целому ряду перспективных материалов, в частности, титану и другим химически активным металлам и их сплавам. Однако электронно-лучевые установки имеют ряд недостатков, к которым можно отнести, прежде всего необходимость применения высоковольтных источников напряжения для работы электронно-лучевой пушки, ступенчатых систем откачки для достижения глубокого вакуума, в ряде случаев при электронно-лучевых процессах необходима специальная защита обслуживающего персонала от тормозного рентгеновского излучения, возникающего при взаимодействии электронного луча с обрабатываемым материалом, что значительно усложняет эксплуатацию установок. Несимметричная подача проволоки в зону воздействия обуславливает трудность аддитивного формирования деталей сложной формы. Кроме того, к недостаткам также можно отнести дороговизну, как самой установки, так и ее эксплуатации.

Во многих случаях целесообразно создание более простых и практически доступных для всех отраслей промышленности, а главное, более

дешевых и универсальных установок для аддитивного формирования изделий в вакууме, позволяющих максимально использовать имеющиеся элементы оборудования и технологии. Одним из наиболее распространенных источников теплоты при сварке и наплавке является электрическая дуга.

1.3 Металлические материалы для аддитивных технологий

В данный момент в производстве порошков есть такой недостаток, как отсутствие единых стандартов на материалы для аддитивных технологий, и методы оценки свойств материалов, полученных традиционными технологиями, не могут быть применены к аддитивным технологиям в силу наличия анизотропии, неизбежно получаемой при послойном принципе создания изделия [5].

При использовании аддитивных технологий производительность формирования деталей из порошковых материалов не высока, поэтому нет особых перспектив для создания крупногабаритных изделий данным методом. В то время как для создания сложных по конструкции изделий этот метод имеет значительное превосходство. И при этом данной технологией возможно получение деталей с заданными свойствами, используя материалы определенного состава.

Использование присадочной проволоки в качестве рабочего материала позволяет избавиться от проблем, связанных с низкой производительностью существующих методов, высокой стоимостью применяемого оборудования, ограниченностью типов применяемых материалов, обусловленной использованием порошковых систем. Так же у присадочной проволоки значительно меньше удельная площадь поверхности, чем у порошковых материалов, и она менее склонна к окислению и поглощению влаги или загрязняющих веществ. Важным является доступность весьма широкого по составу спектра проволок, стоимость которых существенно ниже, чем стоимость материалов в порошковом состоянии. При аддитивном

формировании заготовок возможно использование деформируемых алюминиевых сплавов, которые не используются для отливок, в силу своих низких литейных свойств.

Металлопорошковые изделия находят применение в различных высокотехнологичных отраслях, особенно в судостроение, авиастроении, приборостроении. Остальные области применения указаны в таблице 1.1.

Таблица 1.1 Области применения порошковых материалов [4]

Компоненты порошка	Применение
Al-Ni-Co, Fe-Nd-B	Производство магнитов, магниты
Алюминиевая бронза	Судовые винты
Al-Si-Mg	Сплавы с термостабильной структурой
Al-Sn-Cu	Подшипники скольжения
Al-переходные лантаноиды	Сплавы с повышенной термопрочностью
Bi-Te, теллурид висмута	Устройства, использующие эффект Пельтье
Cr-Al	Защитные покрытия
Co-Cr	Сплавы для зубопротезирования
Cu-Ba, Cu-Y	Суперпроводники
Cu-Cr-Zr	Электропроводники без бериллия
Cu-In-Ga- Selenide	Фотогальванические материалы
Cu-Mn-Ni, Cu-Ti-Sn	Режущий инструмент
Au-Pt-Pd-Ag-In, Ag-Cd-Zn-Cu	Сплавы для пайки
Au-Ag-Cu	Тонкопленочные покрытия
Fe-14%Cr-0,4%C	Специальный инструмент и оснастка
Fe-Mn	Износостойкие опоры прокатных станов
Fe-6%Si	Сердечники трансформаторов
Fe-Si-Al	Магнитные компоненты
Сплавы Mg	Металлические матрицы
Ni-алюмиды	Структурные компоненты и покрытия
Ni-Ce	Катализаторы
Ni-Cr-Fe-Si-B	Порошки для плазменного напыления
Ni-Cr-Mo-B	Антикоррозионные покрытия
Ni-лантаноиды	Топливные элементы
Ag-Cu (72/28)	Паты для пайки
Нержавеющая сталь 304/316	MIM-технология
Сталь T42	Инструментальная оснастка
Tb-Fe	Оптико-электронные устройства

Анализируя таблицу, можно сказать, что используют титан и его сплавы, алюминий и его сплавы, железо, никель и драг металлы.

По сравнению с алюминиевыми, титановыми и другими сплавами с коррозионными свойствами, нержавеющая сталь является более доступным вариантом. Она может использоваться для печати водостойких деталей высокой прочности и плотности. Она может быть использована в экстремальной среде, такой как реактивные двигатели самолетов и ракет [4].

Детали из нержавеющей стали изготавливаются на 3D принтере либо путем непосредственного нанесения металла, либо используя композитный материал со связывающим веществом. Детали можно покрывать другими металлами для изменения внешнего вида или свойств поверхности.

Распространенными нержавеющими сталями, используемыми в аддитивном производстве, являются 17-4PH (08X18H5Д5Б), 15-5-PH (08X15H5Д4), ASM 316L (03X16H15M3) и 304L (03X18H11).

Наиболее распространенное применение при использовании проволок в качестве присадочных материалов находят дуговые технологии наплавки: аргонодуговая неплавящимся электродами.

Использование дуги в качестве источника теплоты сопровождается рядом проблем, обусловленных особенностями свариваемого материала, таких как: дефектность наплавляемого материала по границам сплавления, анизотропия свойств наплавленного металла, трудность удержания сварочной ванны из-за высокой жидкотекучести расплавленного металла. Поэтому при выборе материала для создания детали в первую очередь стоит обратить внимание на то, как металл или смесь металлов реагирует на термическое воздействие и как изменяются его физические свойства, влияющие на стабильность нанесения слоя. Но так же имеются свои преимущества такие как: отсутствие потерь на разбрызгивание металла, стабильность формирования шва, низкая пористость.

Выводы по разделу 1

На основании описанной информации можно сделать вывод, что использование в качестве источника тепла лазера даёт достаточно широкий

выбор материала, имеет высокую точность и неограниченную возможность геометрии процесса. Однако этот процесс крайне непроизводителен, имеет привязанность к порошковым материалам и низкое качество деталей.

Применяя дугу в качестве источника тепла, можно повысить параметры качества и производительности. Так же дуговая наплавка подразумевает использование проволоки, которая гораздо дешевле порошка.

Для достижения поставленной цели необходимо выбрать способ сварки и автоматизировать процесс для непрерывности наплавки слоёв, а также разработать специальную установку.

2 Разработка технических требований оборудования для аргонодуговой сварки неплавящимся электродом

2.1 Технологические требования процесса наплавки

Аддитивная наплавка предполагает непрерывное нанесение слоя материала. Это обеспечивает относительную постоянность сечения наплавляемого слоя. Если образование слоя прервать и начать заново, то в зоне прерывания образуется неоднородность сечения. Это объясняется образованием кратера при окончании наплавки и расплавлением с вытеканием металла при образовании сварочной ванны в момент начала наплавки [7].

Равномерность наплавляемого слоя обеспечивается постоянной скоростью наплавки, подачи присадочного материала и постоянного вноса тепла. Разброс этих параметров по мере формирования слоя приведёт к геометрическим дефектам.

Так при отклонении скорости наплавки и подачи материала будет изменяться форма и площадь сечения шва. Возможно образование наплывов и разности высоты слоя. Эти явления не позволят качественно формировать последующие слои.

При увеличении и уменьшении вноса тепла присадочный материал может закипеть или вообще не проплавиться, что приведёт к внутренним дефектам наплавки и последующем браке детали [8]. Так же возникают наплывы и проплавления сварочной ванны описанные в характеристике процесса.

Разные зоны детали требуют разных толщин, соответственно необходимо контролировать приход материала в сварочную ванну и ширину наплавляемого слоя.

При непрерывной наплавке, как в нашем случае, тел вращения, необходимо обеспечить своевременное поднятие головки при проходе каждого слоя. Также на возникающих неровностях на поверхности слоёв необходимо обеспечить постоянное напряжение дуги. Эти два условия требуют обеспечения

управления напряжением дуги.

Таким образом можно сказать, что при дуговой наплавке необходимо обеспечить:

- непрерывный поток прихода металла в сварочную ванну при небольших её размерах;
- управление напряжением дуги;
- обеспечить непрерывное плавление мелкими порциями;
- обеспечение стабильности горения дуги;
- обеспечение малых размеров ванны.

2.2 Характеристика системы источник питания - дуга

Для сварки в аргоне требуется источник с крутопадающей вольт амперной характеристикой. Такая характеристика обеспечивает более устойчивое горение дуги. Схема крутопадающей характеристики приведена на рисунке 2.1.

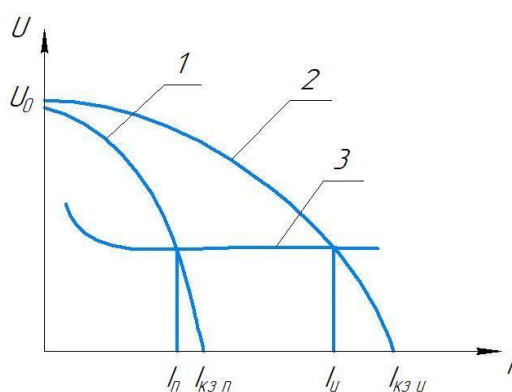


Рисунок 2.1 – Схема крутопадающей вольтамперной характеристики

На схеме находятся вольт амперные характеристики источника питания в паузе 1 и в импульсе 2, которые пересекают вольт амперную характеристику дуги в точках, соответствующих токам паузы I_n и импульса I_u . В промежутке между этими значениями протекает ток от импульсного режима питания. Так же на схеме приведены токи короткого замыкания импульса $I_{кз n}$ и паузы $I_{кз u}$.

Основными параметрами являются ток паузы, ток импульса и напряжение дуги. В процессе наплавки происходит переключение между токами импульса и паузы [9].

Перепад тока дуги позволяет расплавлять проволоку мощным потоком тепла мелкими частями и при этом не расплавлять сварочную ванну [10].

Циклограмма процесса электродуговой сварки неплавящимся электродом в импульсном режиме представлена на рисунке 2.2.

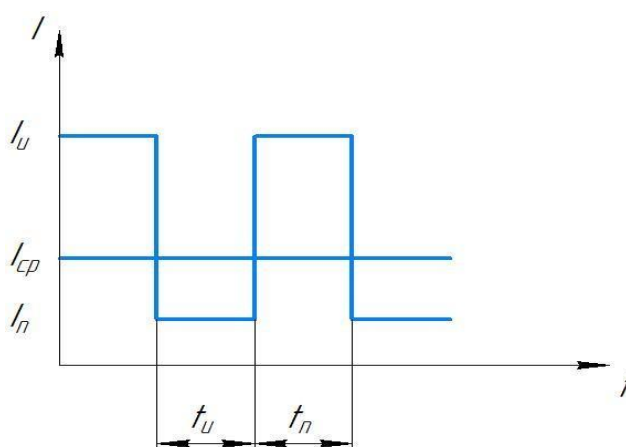


Рисунок 2.2 – Циклограмма способа электродуговой сварки неплавящимся электродом с импульсной модуляцией тока

На предложенной схеме питания показаны токи импульса I_u и паузы I_n , время импульса t_u и паузы t_n . Также показан средний ток I_{cp} , который определяет количество тепла, вносимое в сварочную ванну, и рассчитывается по формуле [11]:

$$I_{cp} = \frac{I_u \cdot t_u + I_n \cdot t_n}{t_n + t_u} \quad (1)$$

При этом за один период следования импульса сварочного тока сварочная ванна совершает колебательное движение. Во время импульса увеличивается объем сварочной ванны и за счет силового давления сварочной дуги ванна перемещается в хвостовую часть по фронту кристаллизации. Во время паузы вследствие резкого снижения давления сварочной дуги ванна

возвращается под электрод также по фронту кристаллизации, но при этом часть металла ванны кристаллизуется на поверхности кристаллизации. Вследствие этого происходит слоистая кристаллизация металла, то есть кристаллизация идет не непрерывно, а дискретно.

Хотя импульсный режим позволяет снизить объем металла сварочной ванны, но вследствие накопления тепла и увеличения температуры изделия во время сварки, происходит увеличение объема сварочной ванны при программном управлении процессом (то есть при постоянных значениях длительности импульса тока и паузы) [12].

Вывод по разделу 2

Во втором разделе, были сформулированы технические требования, такие как управление напряжением дуги, непрерывное плавление, стабильность дуги и малые размеры сварочной ванны. На основании этих требований производилась дальнейшая разработка системы импульсного питания и была сформирована функциональная схема процесса.

3 Разработка функциональной схемы модулятора импульсов сварочного тока

В соответствии со сформулированными требованиями, была разработана функциональная схема модулятора импульсов сварочного тока, показанная на рисунке 3.1, обеспечивающая управление технологическим процессом.

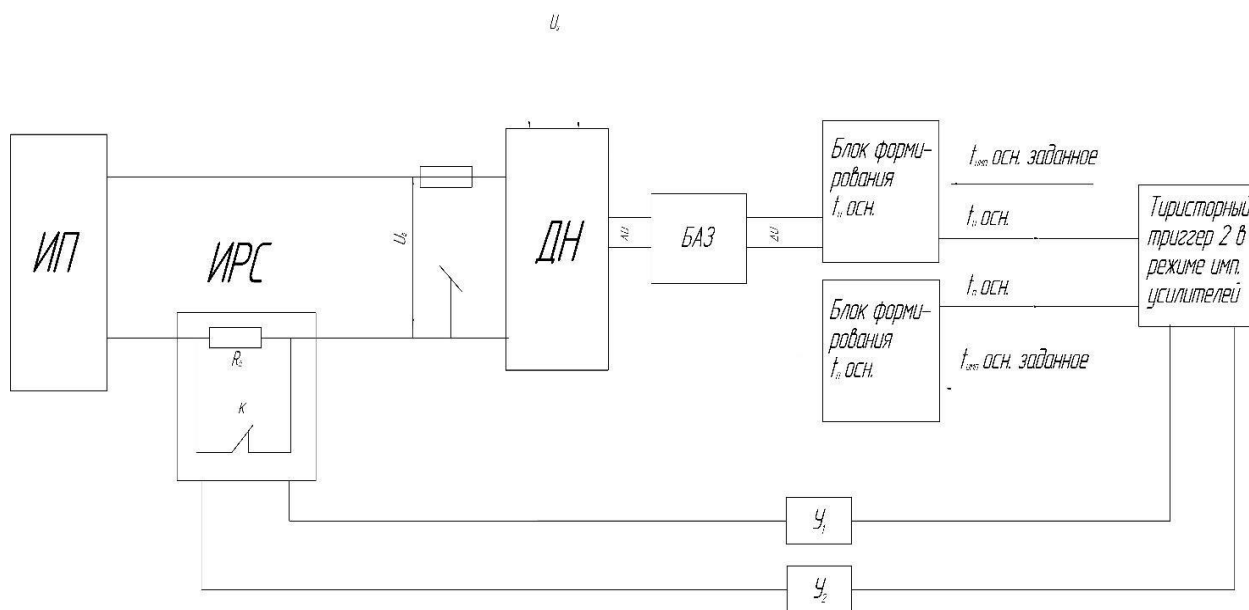


Рисунок 3.1 – Функциональная схема модулятора тока

На рисунке 3.1 предоставлена функциональная схема модулятора импульсов сварочного тока, где у нас есть источник питания постоянного тока, с внешней крутопадающей вольтамперной характеристикой. ИРС – импульсно регулируемое сопротивление. ДН – датчик напряжения, для сравнения напряжения на дуговом промежутке U_2 с заданным напряжением U_3 . Блок формирования длительности основного импульсов $t_{и.осн.}$. Блок формирования длительности основной паузы $t_{п.осн.}$. Тиристорный триггер в режиме импульсных усилителей. $У_1$, $У_2$ усилители. БАЗ – блок абсолютных значений.

Импульсно – регулируемое сопротивление состоит из тиристорного ключа К и сопротивления R_6 . При разомкнутом ключе К, ток протекает через

это сопротивление, примерно равный (5...30) А. Время разомкнутого ключа соответствует времени паузы. При замыкании ключа К, ток определяется характеристикой источника питания и время замкнутого ключа соответствует времени прохождения импульса

Так как U_d может иметь как положительный, так и отрицательный знак после прохождения датчика напряжения, то после прохождения блока абсолютных значений, знакопеременная величина становится положительной для того, чтобы запустить блок формирования основного импульса, который в свою очередь запускает тиристорный триггер. Тиристорный триггер отвечает за регулирование основной паузы и запуска импульсных усилителей, в зависимости от того удлинилась ли сварочная дуги, и соответственно напряжение увеличилось или же наоборот.

Вывод по разделу 3

Анализ процесса сварки в аргоне ее достоинства, недостатки и применяемого оборудования показал, что рассмотренные процессы и оборудование не дают возможность реализовать автоматическое управление напряжением дуги в процессе орбитальной сварки.

В дальнейшем, целью работы будет являться разработка оборудования импульсного питания с технологией обратной связи, неплавящимся электродом.

Для этого нужно будет решить ряд задач:

1. разработка принципиальной электрической схемы с функцией автоматического регулирования напряжения дуги (АРНД);
2. разработка экспериментальной установки.

4 Разработка принципиальной электрической схемы

4.1 Разработка силовой части

На рисунке 4.1 представлена схема принудительной двухступенчатой коммутации, последовательного типа.

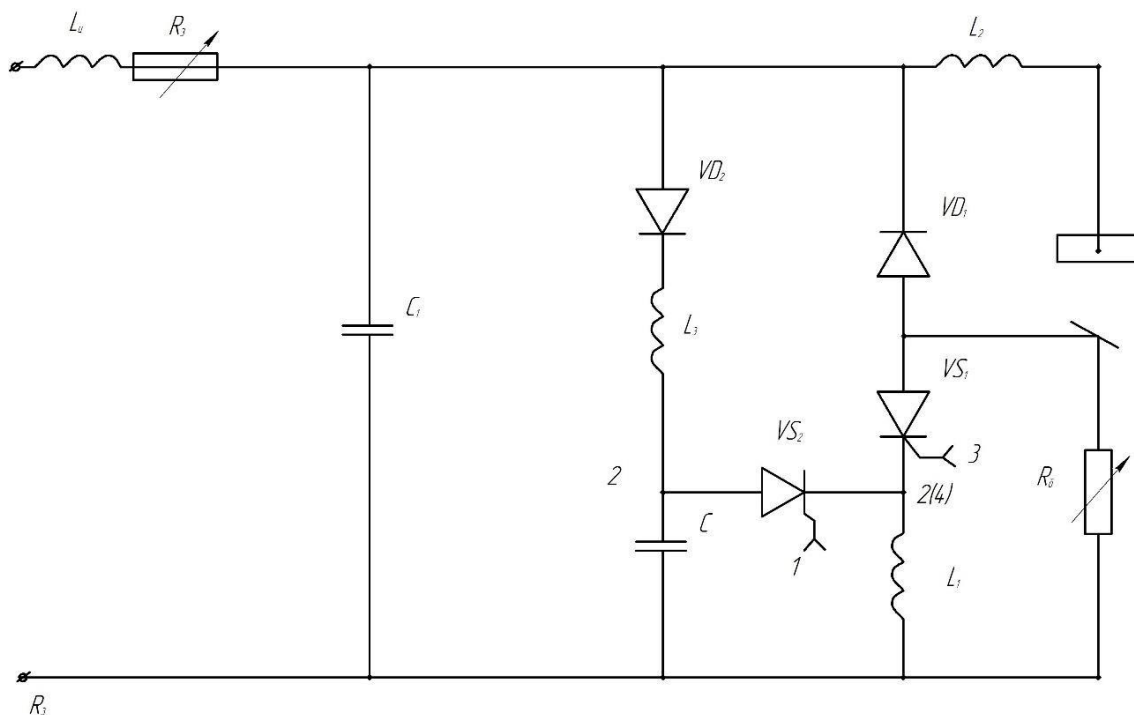


Рисунок 4.1 – Принципиальная электрическая схема

В этой схеме сопротивление R_6 служит для протекания «дежурного» тока во время закрытого тиристора VS_1 . L_u и R_s – индуктивность обмоток и эквивалентное сопротивление сварочного источника соответственно, которые обязательно должны учитываться при рассмотрении электромагнитных процессов в модуляторе. Эпюры токов и напряжений характеризующие процессы, происходящие в модуляторе, приведены на рисунке 4.2.

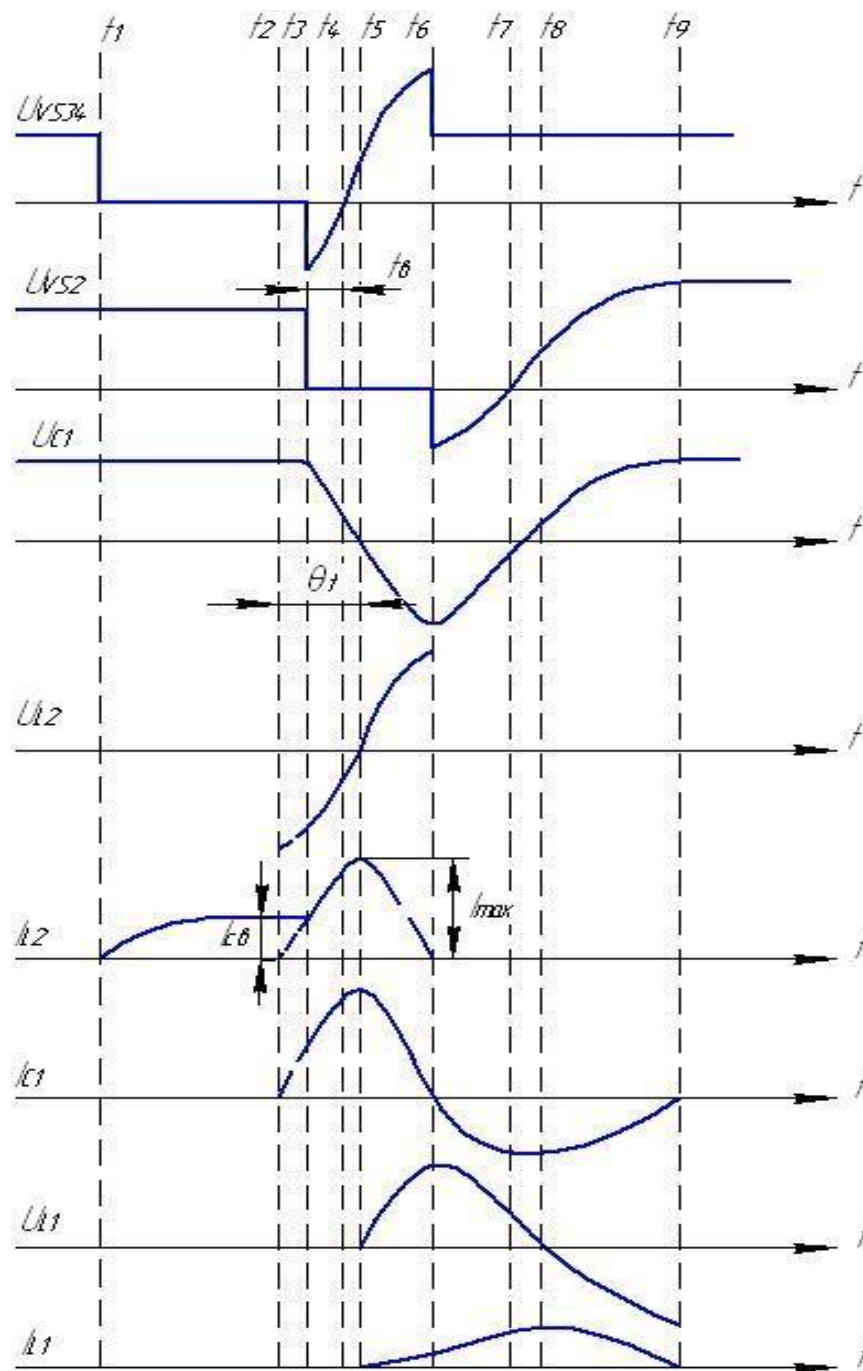
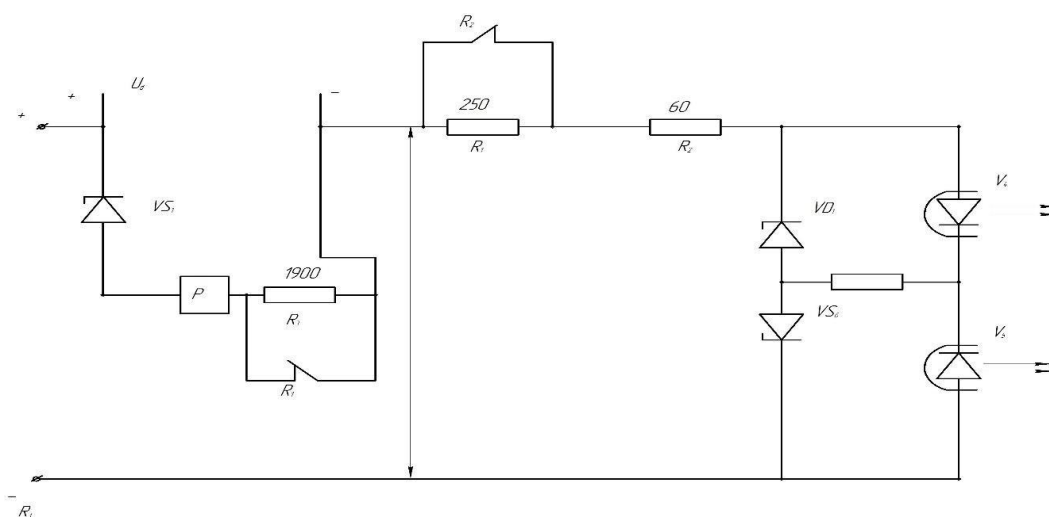


Рисунок 4.2 – Эпюры токов и напряжений

Для анализа процессов в схеме принудительной коммутации на протяжении одного периода разобьем его на этапы. Первый этап начинается в момент включения вспомогательного тиристора VS_2 и характеризуется протеканием импульса обратного тока через находящийся во включенном состоянии силовой тиристор VS_1 . Так как нагрузка зашунтирована в обратном направлении диодом VD_1 это время пренебрежительно мало. На втором этапе

На третьем этапе (интервал времени $t_6 - t_9$) коммутирующий конденсатор под действием своего напряжения и напряжения источника перезаряжается до напряжения U_{C1} , которое является начальным для следующего цикла коммутации. Поскольку сварочный источник обладает сопротивлением, дополнительных мер для ограничения напряжения на конденсаторе $C1$ не требуется [13], вопрос заключается лишь в правильном подборе добротности зарядного контура.

Блок обратной связи, показанный на рисунке 4.3, выполнен на базе блока абсолютных значений. Данная схема предназначена для осуществления следующих функций: контроля напряжения дуги в зависимости от высоты сварочной головки и для запуска тиристорного триггера.



Как показано на рисунке 4.3, U_d и U_z имеют общую точку, со знаком «+» и разные точки со знаком «-», это означает, что на входе может быть

знакопеременная величина, но после прохождения БАЗ, мы получаем положительную величину. В зависимости от того, какое напряжение будет больше, U_d или U_z сработает один из светодиодов, которые входят в устройство оптотранзисторов V_4 или V_5 , данные светодиоды запускают схему управления сварочным циклом.

На схеме также показаны два контакта реле, данное устройство предохраняет от выхода из строя элементов. В режиме холостого хода, если напряжение становится больше, напряжения стабилизации, стабилитрона VS_3 срабатывает реле и размыкает контакт, включается сопротивление R_1 и R_3 , которое ограничивается ток для предохранения элементов. Если напряжение становится меньше, чем напряжения стабилитрона VS_1 , то это означает, что напряжение падает до рабочего и контакт замыкается.

4.3 Разработка схемы управления сварочным циклом

Блок схема управления сварочным циклом состоит из тиристорного триггера, который выполнен на тиристорах VS_4 , VS_5 и однопереходных транзисторах VT_1 и VT_2 . Схема управления сварочным циклом представлена на рисунке 4.4.

Отпирание тиристоров VS_4 , VS_5 производится импульсом напряжения, снимаемым с сопротивлений R_9 и R_{19} соответственно [6]. На базе однопереходных транзисторов VT_1 и VT_2 выполнены релаксационные генераторы. Генератор на однопереходном транзисторе VT_1 включает сопротивление R_8 и R_9 , через которые базы однопереходного транзистора подключены к питающему напряжению и времязадающая цепь: $C_2 - R_7 - R_6 - V_1$.

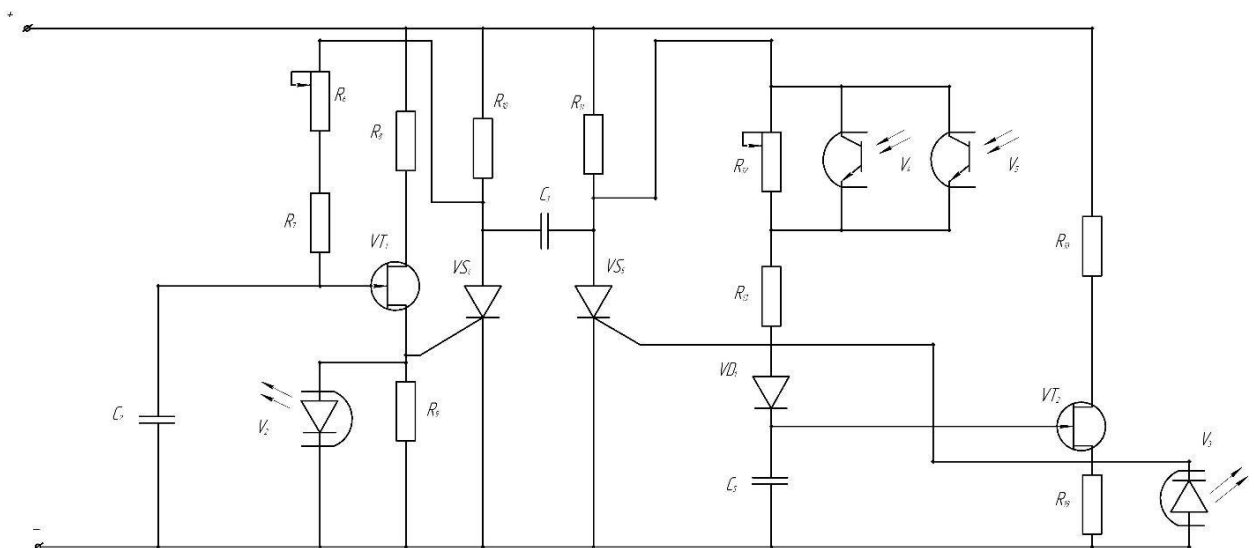


Рисунок 4.4 – Схема управления сварочным циклом

Питание времязадающей цепи осуществляется с анода тиристора VS4. Когда конденсатор C2 зарядится до пробивного напряжения эмиттер база 2 однопереходного транзистора VT1 происходит мгновенный разряд конденсатора C2 на сопротивление R9. Импульс с сопротивления R9 поступает одновременно на управляющий электрод тиристора VS4 и отпирает его, в результате напряжения конденсатора C3 с плюсом на левой обкладке прикладывается в обратном направлении к тиристоры VS5, который был открыт, и он при этом запирается, а напряжение с его анода подается на времязадающие линии определяющие длительность импульса сварочного тока в различных режимах и на светодиоды оптотранзисторов V6 и V10, V6 включает импульсный усилитель U1.

Вторая половина представленной схемы, выполнена на тиристоре VS5 и однопереходном транзисторе VT2 имеет времязадающую цепь: R12 – R13 – C5. Времязадающая цепь срабатывает при коротком замыкании. Она резко ограничивает длительность импульсов сварочного тока. Импульсы напряжения, снимаемые с R19 включают VS5 и импульсный усилитель U7, который включает вспомогательный тиристор VS2 в силовой части и одновременно через оптотранзистор V8 включает схему стабилизации на коммутирующем конденсаторе. Схема стабилизации Uс при срабатывании через оптотранзистор

V9 включает зарядный тиристор VS3.

Для управления тиристорами, как на постоянном, так и на переменном токе, в дальнейшем, целесообразно использовать релаксационный генератор, показанный на рисунке 4.5, выполненный на базе однопереходного транзистора VT1.

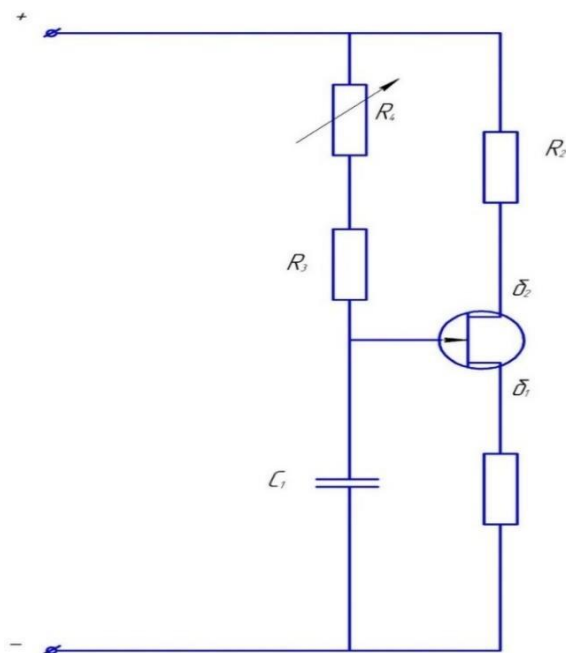


Рисунок 4.5 – Релаксационный генератор

Между базами прикладывается постоянное напряжение U . Если приложить напряжение между эмиттером и b_1 и величиной $U_{эб_1} = kU$; где k коэффициент передачи, происходит пробой перехода $эб_1$ и мгновенный разряд конденсатора на сопротивление $R1$, на котором при этом образуется короткий импульс напряжения.

На основании всего вышесказанного была собрана принципиальная электрическая схема рисунок 4.6. Схема включает в себя источник питания, силовую часть, блок обратной связи, схему управления сварочным циклом и блок управления импульсными усилителями.

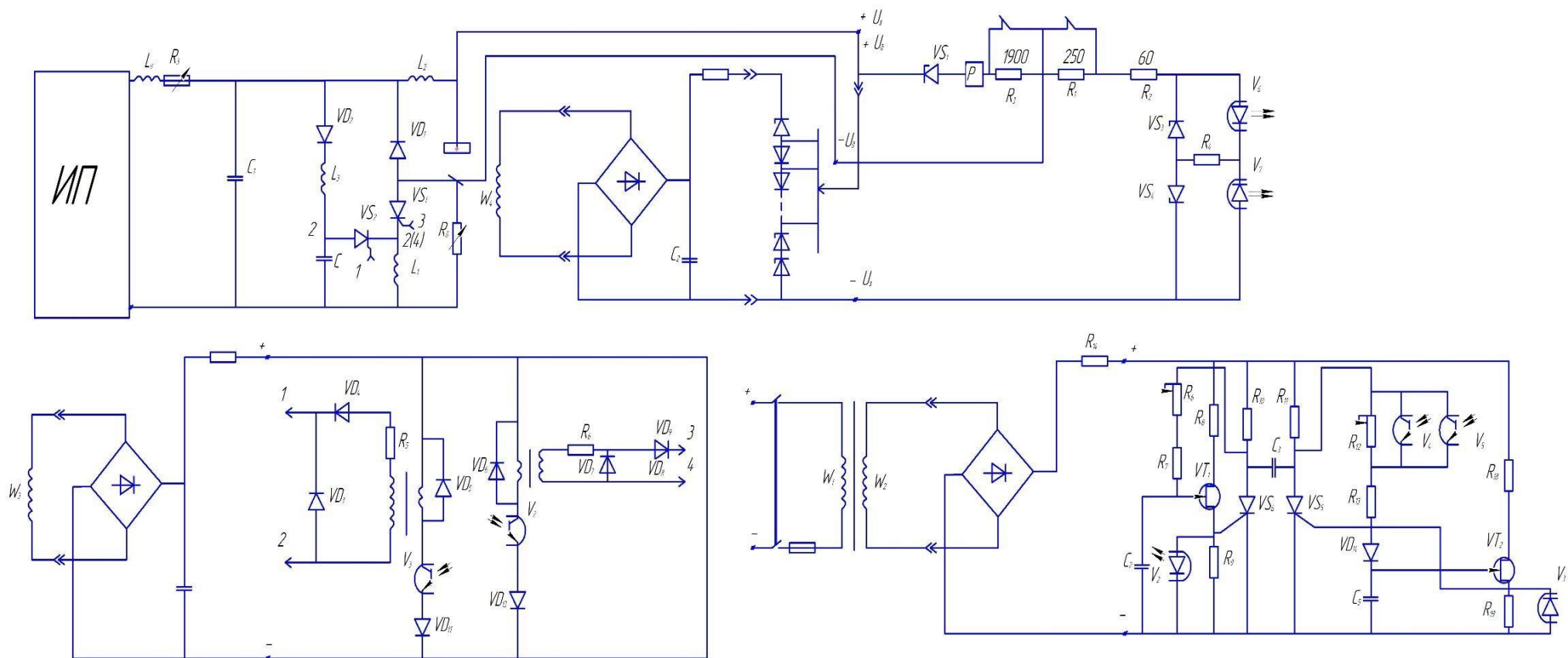


Рисунок 4.6 – Принципиальная электрическая схема

5 Экспериментальная часть

Для экспериментальной проверки разработана установка для наплавки тел вращения, изображенная на рисунке 5.1.

Автоматический регулятор напряжения дуги встроен в блок автоматики и контроля БАРС-2В.

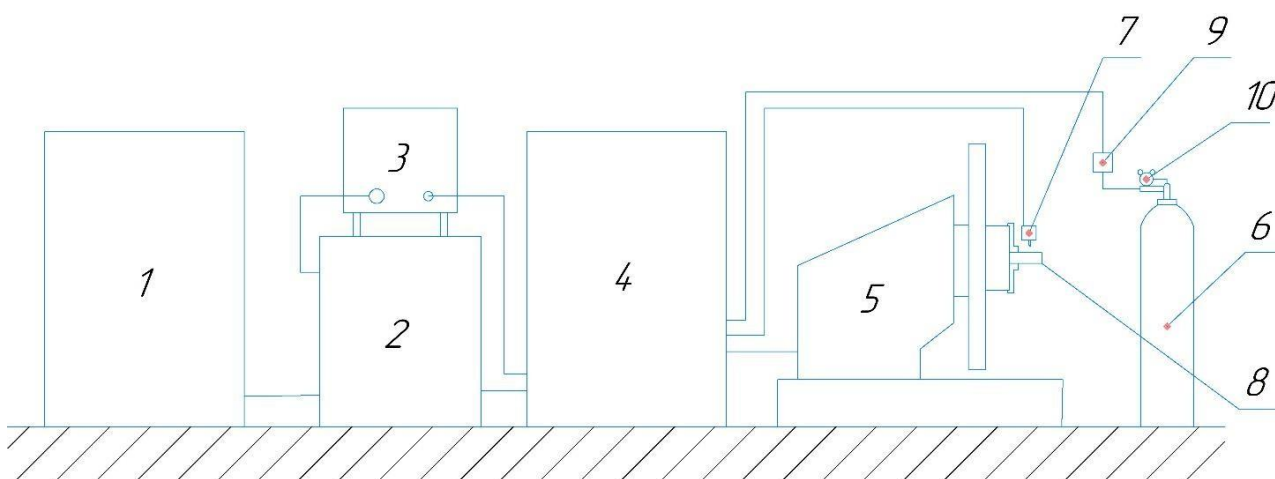


Рисунок 5.1 – Принципиальная схема экспериментальной установки для разработанного способа наплавки с автоматическим изменением напряжения для перехода на новый слой

Схема экспериментальной установки состоит из силового источника питания 1, импульсного модулятора 2, балластного реостата 3, системы автоматики 4 БАРС-2В, манипулятора с патроном 5, газового баллона 6, сварочной головки 7, подложки в виде трубы 8, газового клапана 9 и газового редуктора и расходомера 10.

5.1 Описание сварочной головки

При проведении эксперимента использовалась сварочная головка собранная изображённая на рисунке 5.2.

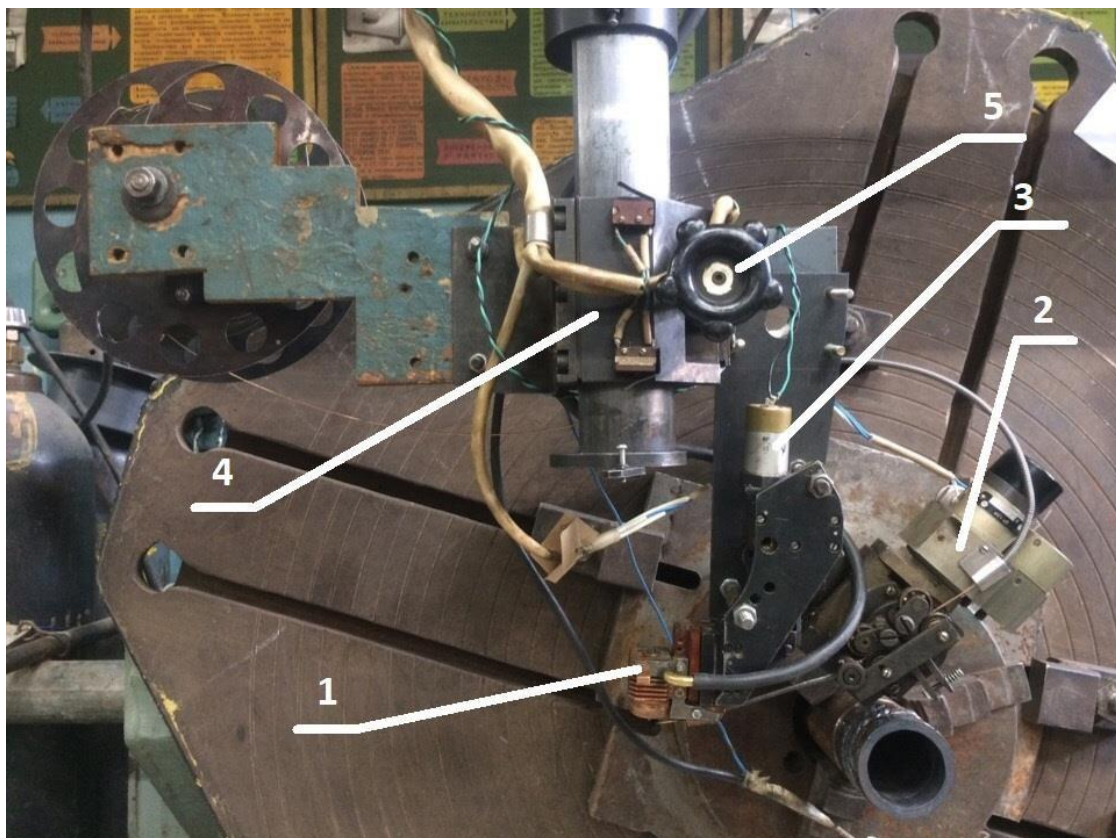


Рисунок 5.2 – Устройство сварочной головки

Согласно рисунку 5.1 в данной экспериментальной установке используется автомат 4 сварочной головки состоящий из горелки 1, привода подачи проволоки 2, привода колебаний 3, вертикального привода 4, установочного продольного привода 5.

Горелка сварочной головки имеет конструктивные рёбра для охлаждения, выход на газопровод и использует вольфрамовый электрод диаметром 3 мм.

Привод подачи имеет диапазон диаметра используемой проволоки от 0,8 мм до 2 мм, может обеспечить скорость подачи проволоки от 8-120 м/час и имеет две пары U-образных роликов.

Привод колебания имеет угол поворота в 15° в каждую сторону и колеблется в диапазоне 0,2 - 3 Гц.

5.2 Описание системы автоматики БАРС-2В

Система автоматики БАРС-2В предназначена для управления автоматической сваркой неплавящимся электродом в среде защитных газов на переменном и постоянном токах и обеспечивает регулирование сварочным током и скоростями сварки, подачей присадочной проволоки, колебаниями электрода, а также слежение по напряжению сварочной дуги.

В комплект системы входит аппаратный шкаф, блок управления, привод нереверсивный (блоки регулирования тока и скорости), привод реверсивный (блок регулирования дуги), блок программного управления, блок вентиляторов, стойка управления, пульт управления, пульт ручной, блок реле времени, кабельное хозяйство, комплект ЗИП, комплект сопроводительной документации.

Она имеет следующие технические характеристики:

- 1) напряжение питания $220 \text{ В} \pm 10 \%$, 50 гц;
- 2) мощность потребителя не более 2,4 кВт;
- 3) выходная мощность регулятора привода не более 0,3 кВт;
- 4) выходная мощность регулятора сварочного тока не более 0,6 кВт;
- 5) напряжение сварочной дуги от 3,5 до 27 В;

Стоит отметить, что в системе автоматики БАРС-2В блок питания двигателей подачи проволоки и скорости вращения реализует импульсно-фазовое управление. Такое управление не подходит для двигателей головки ОКА 18-45, так как в ней прецизионные двигатели с полуротором. Поэтому специально сделан блок адаптации с целью связи этих устройств.

5.3 Эксперимент и его результаты

Для проведения эксперимента опытным путем были выбраны следующие параметры сварки: $U=10 \text{ В}$, скорость подачи присадочного

материала $v_{п}=60$ см/мин, скорость вращения стола $v_{вр}=0,8$ об/мин. Результаты наплавки приведены на рисунке 5.3.

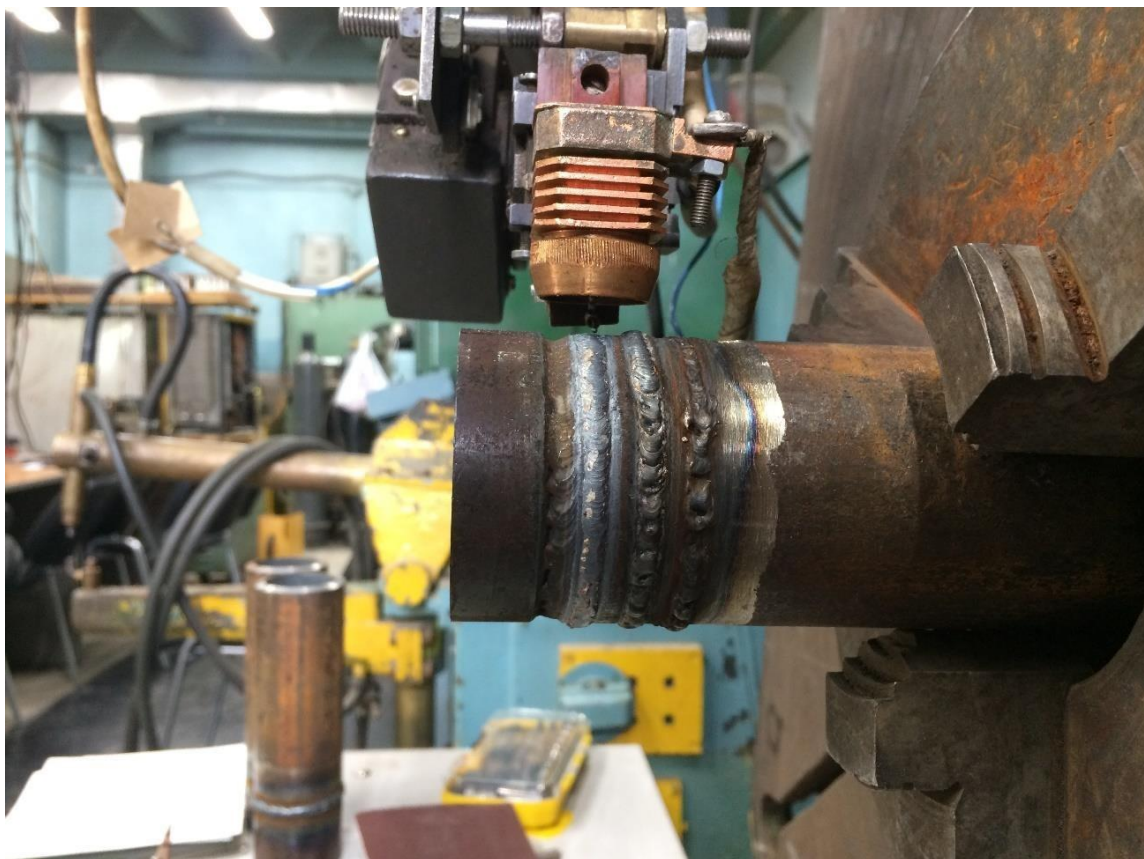


Рисунок 5.3 – Результат наплавки одним проходом

Далее была выполнена наплавка на несколько оборотов манипулятора. При проходе на один оборот сварочная головка смещается на высоту примерно равную высоте одного слоя. С каждым последующим слоем труба начинает нагреваться, теплоотвод с наплавки уменьшается и ванна начинает вести себя нестабильно.

При наплавке слоёв, идущих после первого, система АРНД реагирует на неровности предыдущего слоя, и система вертикального привода начинает колебаться, пытаясь выровнять напряжение дуги. При визуальном осмотре наплавки не замечено сильных отклонений ширины слоёв друг от друга.

В результате эксперимента получился качественно сформированный валик шва, без явного нарушения при визуальном осмотре, то есть не

наблюдается провисания и натекания сварочной ванны. На данном этапе, разработанным способом можно сваривать заготовки диаметром до 60 мм.

Выводы по разделу 5

- 1) Сформирована схема экспериментальной установки, рассмотрены основные элементы и принцип работы.
- 2) В ходе предварительного расчёта и экспериментов были подобраны оптимальные параметры наплавки.
- 3) Результаты эксперимента показали, что работа системы АРНД соответствует предполагаемой, но при этом колеблет головку на неровностях шва, что требует снижения чувствительности.
- 4) Наплавленный слой формируется без видимых отклонений.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Объектом исследования в моей работе является «процесс сварки неплавящимся электродом в среде аргона», выполняемая в рамках научно-исследовательской работы для организации. Основная задача работы состоит в том, чтобы разработать систему импульсного питания сварочной дуги с автоматическим управлением формы сварного шва.

Целью данного раздела является сравнение предлагаемой разработки с разработками, которые уже существуют и являются основными в этой сфере.

6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка системы импульсного питания для аддитивных процессов наплавки» выполняется в рамках научно-исследовательской работы для организации. Заинтересованными лицами в полученных данных будут являться сотрудники организации.

Суть работы заключается в исследовании и разработке процесса наплавки неплавящимся электродом в аргоне дугой, в которой происходит автоматическое регулирование в процессе сварки.

В данном случае сегментирование целесообразно провести по критерию энергоэффективности, таблица 2.

Таблица 2 – Сегментирование рынка

Технологические показатели качества сварного соединения	Показатели			
		Низкий показатель	Средний показатель	Высокий показатель
	Качество сварного шва	3	2	1
	Скорость сварки	3, 2	2	1
	Производительность	3, 2	3, 2	1

где 1 – Автоматическая наплавка в среде аргона;

2– Лазерная наплавка;

3 – Ручная дуговая наплавка.

Результат сегментирования показал, что уровень конкуренции низок. Наплавка неплавящимся электродом в среде аргона, как видно из сегментирования, хороший способ наплавки, который может получать качественные сварные изделия.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

В таблице два приведена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Таблица 3 – Оценочная карта

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентноспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							

Продолжение таблицы 3

Удобство в эксплуатации	0,1	3	4	3	0,5	0,2	0,3
Затраты на сварочные материалы	0,2	5	5	4	1	0,2	1
Качество сварного соединения	0,1	5	5	3	0,5	0,3	0,1
Экономические критерии оценки							
Цена	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,25
Препологаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,3
Конкурентно-способность работы	0,25	5	5	3	1,25	0,5	1
Итог	1	28	26	21	5	2,35	3,75

где Бф – Автоматическая наплавка в среде аргона;

Бк1 – Лазерная наплавка;

Бк2- Ручная дуговая наплавка.

Анализ конкурентных технических решений определили по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i,$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Итогом данного анализа является то, что метод предложенный в работе эффективнее, чем методы конкурентов. У разрабатываемого метода, итоговое количество баллов получилось больше, чем у конкурентов.

6.1.3 SWOT – анализ

В таблице 4 подробно рассмотрены сильные и слабые стороны проекта, возможности проекта и угрозы при выполнении данной задумки.

SWOT-анализ — это универсальный метод, который применяется в самых разнообразных сферах экономики и управления. Его можно адаптировать к объекту исследования любого уровня.

Таблица 4 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Слабые стороны
Широкая область применения	Развитие новых технологий
Отсутствие конкурентов на рынке	Перенастройка оборудования
Наличие бюджетного финансирования.	Отсутствие квалифицированного персонала.
Использование современного оборудования	
Актуальность проекта	
Наличие опытного руководителя	
Возможности	Угрозы
Получение качественных сварных Соединений	
Возможность применения в массовом производстве	
Повышение стоимости конкурентных разработок	

В таблице 5 приведены мероприятия, которые необходимо провести в ближайшее время для достижения максимальной выгоды, а в таблице 6

мероприятия, которые необходимо провести через год и через пять лет соответственно, таблица 7.

Таблица 5 – Мероприятия, которые необходимо провести сейчас

	Ресурс, человек/час	Влияние (0-5)
Повышение квалификации персонала	200	4
Привлечение ВУЗов партнеров, для развития исследования	300-500	5
Улучшение технологии	500-700	5

Таблица 6 – Мероприятия, которые необходимо провести через год

	Ресурс, человек/час	Влияние (0-5)
Уменьшение габаритов Установки	400	3
Привлечение финансирования для развития технологии	500	4
Улучшение технологии	500-700	5

Таблица 7 – Мероприятия, которые необходимо провести через 5 лет.

	Ресурс, человек/час	Влияние (0-5)
Введение нашей установки на предприятие	200	5
Привлечение финансирования для развития технологии	500	4
Улучшение технологии	500	5

6.2 Планирование научно-исследовательской работы

6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В таблице 8 приведен перечень основных этапов по созданию проекта и распределение их между участниками.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
дание темы проекта	1	ление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
бор направления исследования	3	ение материала по теме	Инженер
	4	бор направления исследований	Научный руководитель, инженер
	5	ое планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Инженер
	7	ор нормативных документов	
	8	Изучение установки	
нка полученных результатов	9	Анализ результатов	Научный руководитель, инженер
	10	Вывод по цели	Научный руководитель, инженер

6.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (12)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}} = 366$ – количество календарных дней в 2020 году;

$T_{\text{вых}} = 104$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.



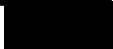




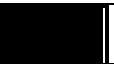
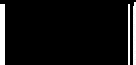
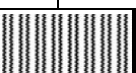



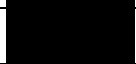



$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 104 - 14} = 1,48,$$

Все рассчитанные значения вносим в таблицу 9. После заполнения таблицы 9 строим календарный план-график, таблица 10. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} чел-дни			t_{max} чел-дни			$t_{ож\bar{i}}$ чел-дни									
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление и утверждение темы проекта	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
актуальности темы	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Рук.-инженер.	1	1	1	2	2	2
Поиск и изучение материала по теме	1	1	1	5	5	5	2,6	2,6	2,6	Инженер-рук.	1	1	1	2	2	2
бор направления исследований	1	2	2	3	4	4	1,4	2,8	2,8	Руководитель	1	2	2	2	3	3
Календарное планирование работ	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
ие литературы по теме	7	7	7	14	14	14	9,8	9,8	9,8	Инженер	10	10	10	15	15	15
бор нормативных документов	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Инженер-рук.	3	4	4	5	6	6
Изучение результатов	1	2	2	2	3	3	1,4	3	3	Инженер	2	3	3	3	5	5
ение расчетов по теме	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Инженер	7	8	8	10	11	11
Анализ результатов	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Инженер-рук.	2	2	2	3	3	3
Вывод по цели	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Инженер	3	3	3	4	4	4

Таблица 10 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

№ Работ	Вид работ	Исполнители	T _{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ								
				Март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение проекта	Руководитель	3									
2	Анализ актуальности темы	Рук.- Инженер	2									
3 м	Поиск и изучение материала	Инженер-рук.	2									
4	Выбор направления дований	Руководитель	2									
5	Календарное планирование	Руководитель	3									
6	Изучение литературы по теме	Инженер	15									
7	Подбор нормативных актов	Инженер-рук.	5									
8	Изучение установки	Инженер	6									
9	Моделирование плазмотрона	Инженер	3									
10	Изучение результатов	Инженер	3									
11	Проведение расчетов по теме	Инженер	10									
2	Анализ результатов	Инженер - рук.										
3	Вывод по цели	Инженер										

6.3 Бюджет научно-технического исследования

6.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены, а также амортизация на специальное оборудование.

В качестве специального оборудования выступает источник питания PS 164-2.

Был произведён расчёт амортизации на специальное оборудование: цена объекта 30000, срок полезного использования 5 лет.

$$H_a = \frac{1}{T} \cdot 100\% = \frac{1}{5} \cdot 100\% = 20\%$$

$$A_m = \frac{30000 \cdot 0,2}{12} = 500 \text{ р.}$$

Ежемесячные амортизационные отчисления 500р.

Таблица 11 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Источник питания	1	-	-	30	-	-	46	-	-
Итого:								46	-	-

6.3.2 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30% от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы

Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление и утверждение темы	Руководитель	2	2	2	3,6			8	8	8
Анализ актуальности темы	Инженер-рук.	1	1	1	4,4			5	5	5
Поиск и изучение материала по теме	Инженер-рук.	1	1	1	4,4			5	5	5
Выбор направления исследований	Руководитель	1	2	2	3,6			4	8	8
Календарное планирование работ	Руководитель	2	2	2	3,6			8	8	8
Изучение литературы по теме	Инженер	10	10	10	0,8			8,9	8,9	8,9
Подбор нормативных документов	Инженер - рук.	3	4	4	4,4			14,8	19,7	19,7
Изучение установки	Инженер	4	6	6	0,8			3,6	5,4	5,4
Модернизация установки	Инженер	2	3	4	0,8			1,8	2,7	3,6

Продолжение таблицы 12

Анализ результатов	Инженер-рук.	2	2	2	4,4	9,8	9,8	9,8
Вывод по цели	Инженер	3	3	3	0,8	2,7	2,7	2,7
Итого:						71,6	83,2	84,1

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и инженер. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 450 рублей, а инженер 100 рублей (рабочий день 8 часов).

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (18)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Максимальная основная заработная плата руководителя (кандидата технических наук) равна примерно 50400 рублей, а инженера 31000 рублей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = K_{доп} \cdot З_{осн}, \quad (19)$$

где $K_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Таким образом, заработная плата руководителя равна 53760 рублей, инженера – 35504 рублей.

6.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = \kappa_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2019 году водится пониженная ставка – 28%.

Таблица 13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб			Дополнительная заработная плата, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель	48000	57000	57000	57000	68000	6840
Инженер	31700	27200	28100	3804	3264	3372
Коэффициент отчислений	0,271					
Итого						
Исполнение 1	24190,5 руб.					
Исполнение 2	25556,4 руб.					
Исполнение 3	25829,5 руб.					

6.3.4 Накладные расходы

Принятое понятие накладных расходов подразумевает траты, которые нельзя отнести непосредственно к технологическим процессам производства, сопровождающие процесс производства, но не входящие в стоимость работы и сырья. Другое название накладных расходов – косвенные издержки. Из указывают при планировании и составлении смет как фирмы в целом, так и отдельных структурных подразделений.

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot K_{\text{нр}} ,$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы при первом исполнении равны: $Z_{\text{накл}} = 35914,4 \cdot 0,16 = 57474,29$ руб.

6.3.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджетных затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	37353	36720,5	36636,5	Пункт 6.3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	46000	46500	47000	Пункт 6.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	79700	84200	85100	Пункт 6.3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9564	10104	10212	Пункт 6.3.3
5. Отчисления во внебюджетные фонды	24190,5	25556,4	25829,5	Пункт 6.3.4
6. Накладные расходы	57249,2	43452,9	47324,5	6 от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	254238,7	246533,8	252102,5	Сумма ст. 1- 6

6.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождения связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$r_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (21)$$

где $r_{\text{финр}}^{\text{исп } i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{фин}}^1 = \frac{254238,7}{254238,7} = 1,$$

$$I_{\text{фин}}^2 = \frac{246533,8}{254238,7} = 0,967,$$

$$I_{\text{фин}}^3 = \frac{252102,5}{254238,7} = 0,991,$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a^i b^i \quad (22)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b^a, b^P – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки,;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы 15.

Таблица 15 – сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Сварочный материал	0,25	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации	0,25	5	2	3
3. ПГ,СГ,ЗГ	0,15	4	4	4
4. Модернизация установки	0,35	4	5	5
ИТОГО	1	4,5	3,6	4,1

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,35 = 4,5 ;$$

$$I_{p-исп2} = 3 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,35 = 3,6 ;$$

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,35 = 4,1 ;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп i} = \frac{I_{p-исп i}}{I_{финр i}}, \quad (23)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,5}{1} = 4,5,$$

$$I_{исп2} = \frac{3,6}{0,967} = 3,7,$$

$$I_{исп3} = \frac{4,1}{0,991} = 4,1,$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность

проекта (см.табл.16) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп\ i}}{I_{исп\ max}}$$

В таблице 16 можно наблюдать, что первое исполнение, уступает двум другим только по интегральному показателю разработки. Связано это с тем, что максимальная стоимость исполнения немного больше в сравнении с двумя другими.

Таблица 16 - Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Интегральный финансовый показатель разработки	0,96	1	0,9
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,6	4,1
Интегральный показатель эффективности	4,7	3,6	4,55
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,76	0,96

Если сравнительная эффективность вариантов исполнения стремится к единице, то этот вид сварки является самым эффективным. Следовательно, обращая внимание на значения пункта 4 из таблицы 16, можно сделать вывод о том, что аддитивная наплавка неплавящимся электродом является экономически выгодным относительно других видов наплавки.

Выводы

В ходе выполнения экономической части квалификационной работы проведены SWOT-анализ и оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований, благодаря которым была доказана целесообразность применения данной разработки и её конкурентоспособность.

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Подсчёт затрат на разработку позволяет заключить, что основной статьёй расходов в научно-исследовательской работе является заработная плата исполнителей: основная – 79700 руб. (31,3%), а меньше всего средств уходит на дополнительную заработную плату – 9564 руб. Общий бюджет разработки составил 254238,7 руб. При этом запланированная продолжительность работы составляет 52 дней.

Данный метод при правильном продвижении и учете внешних и внутренних факторов, может составить сильную конкуренцию имеющимся методам наплавки, но в современных условиях требует постоянного совершенствования, обновления материальной базы и повышение профессионализма сотрудников.

7 Социальная ответственность

7.1 Введение

Объект исследования является разработка системы импульсного питания для наплавки дугой горячей в динамическом режиме. Данная разработка является разработкой процесса для послойного наращивания металла.

В данном разделе была задача исследовать вредные и опасные факторы на человека и окружающую среду, разработать мероприятия по предотвращению данных факторов.

При эксплуатации данного способа сварки и предлагаемого процесса на работающих действуют следующие опасные и вредные факторы:

- чрезмерная запыленность и загазованность воздуха в результате конденсации паров расплавленного металла, защитного газа и покрытия электродов при аргонодуговой сварке и т.п.;
- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов и воздуха в рабочей зоне (РЗ), особенно при сварке с подогревом изделий; рабочая зона – пространство высотой 2 м над уровнем пола или площадки, где находятся рабочие места. Действие лучистого потока теплоты не ограничивается изменениями, происходящими на облучаемом участке тела, на облучение реагирует весь организм. Под влиянием облучения в организме происходят биохимические сдвиги, наступают нарушения деятельности сердечно – сосудистой и нервной систем.
- излишняя яркость при сварке, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация;
- влияние шума (см. средства защиты от шума) и вибраций имеет место при работе различного оборудования (вентиляторов, сварочных трансформаторов и др.);
- нервно-психические перегрузки из-за напряженности труда в связи с полуавтоматическим способом сварки. Воздействие опасных

производственных факторов может привести к травме или внезапному резкому ухудшению здоровья. Это действие электрического тока, искры и брызги расплавленного металла, движущиеся машины, механизмы, превышение нормы газа аргона в воздухе и т.д. Наличие расплавленного металла, находящиеся баллон под давлением увеличивает опасность возникновения пожара.

7.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основной задачей регулирования проектных решений разрешается за счет соблюдения законов (налоговое законодательство, трудовой и гражданский кодексы). Руководитель (ответственный) принимает обязательства выполнения и организации правил эвакуации и соблюдение требования безопасности в помещении.

Требования к размещению машин для сварки, организации рабочих мест и к производственным помещениям – в соответствии с ГОСТ 12.3.003-86.

Рабочие места электросварщиков должны ограждаться переносными или стационарными светонепроницаемыми ограждениями (щитами, ширмами и экранами) из несгораемого материала, высота которых должна обеспечивать надежность защиты.

Ширина проходов с каждой стороны рабочего стола и стеллажа должна быть не менее 1 м.

- Рабочие места электросварщиков должны ограждаться переносными или стационарными светонепроницаемыми ограждениями (щитами, ширмами и экранами) из несгораемого материала, высота которых должна обеспечивать надежность защиты;
- Ширина проходов с каждой стороны рабочего стола и стеллажа должна быть не менее 1 м;
- Ширина проходов между установками должна быть: при расположении рабочих мест друг против друга для точечных и шовных машин - не менее 3

м, при расположении машин тыльными сторонами друг к другу - не менее 1 м, при расположении машин передними и тыльным и сторонам и друг к другу - не менее 1,5 м;

- Полы производственных помещений для выполнения сварки должны быть несгораемые, обладать малой теплопроводностью, иметь ровную нескользкую поверхность, удобную для очистки, а также удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям в соответствии с действующими строительными нормами и правилами;
- При установке однопостового источника питания у стены расстояние от стены до источника должно быть не менее 0,5 м;
- Открытые траектории в зоне возможного нахождения человека должны располагаться значительно выше уровня глаз. Минимальная высоты траектории 2.2.м;
- Рабочее место обслуживающего персонала, взаимное расположение всех элементов (органов управления, средств отображения информации, оповещения и др.) должны обеспечивать рациональность рабочих движений и максимально учитывать энергетические, скоростные, силовые и психофизиологические возможности человека;
- Следует предусматривать наличие мест для размещения съемных деталей, переносной измерительной аппаратуры, хранение заготовок, готовых изделий и др.;
- Установки должны эксплуатироваться в специально выделенных помещениях либо могут располагаться в открытом пространстве на фундаментах или платформах транспортных средств;
- Помещения должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и иметь необходимые средства предотвращения пожара и противопожарной защиты;
- Отделку помещений следует выполнять только из негорючих материалов. Не допускается применение глянцевых, блестящих, хорошо (зеркально) отражающих излучение сварочной дуги (коэффициент отражения

рекомендуется не более 0.4);

- Двери помещений должны иметь знак ультрафиолетовой опасности;
- Высота помещений должна быть не менее 4.2 м. Коммуникации (вода, электроэнергия, воздух, и др.) следует прокладывать под полом в специальных каналах с защитными коробами (возвышение над уровнем пола не допускается) или подвешивать кабели на высоте не менее 2.2 м от пола;
- Помещения должны иметь приточно-вытяжную вентиляцию. При необходимости, рабочие места должны быть оборудованы местной вытяжкой с целью исключения попадания в рабочее помещение продуктов взаимодействия ультрафиолетового излучения с обрабатываемыми материалами.

7.3 Производственная безопасность

Опасные и вредные факторы при эксплуатации процесса сварки приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Опасные и вредные факторы при эксплуатации процесса сварки дугой, горячей в динамическом режиме

Источник фактора, название видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Проведение сварочных работ: 1) Сварка трубных заготовок; 2) Проведение ремонтных работ по заварке дефектных мест.	1. Отклонение показателей микроклимата в производственных помещениях; 2. Превышение уровня шума и вибрации; 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны.	1. Движущиеся машины и механизмы; незащищенные подвижные элементы производственного оборудования, брызги расплавленного металла. 2. Электрический ток; 3. Находящийся баллон под давлением.	СН 2.2.4/2.1.8.562-96, ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ, ГОСТ 12.1.012–2004 ССБТ, ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03, СанПиН 2.2.4.548–96, СН 2.2.4/2.1.8.566–96, СП 52.13330.2016, СанПиН 2.2.2.540-96.

7.3.1 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокой работоспособности.

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны соответствовать ГОСТ 12.1.005–88. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений (по ГОСТ 12.1.005–88)

Период года	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения	
	Оптимальная температура	Температура на рабочих местах				Оптимальная	Допустимая, не более	Оптимальная, не более	Допустимая, не более
		Верхняя		Нижняя					
		Пост.	Не пост.	Пост.	Не пост.				
Холодный	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	0,1
Теплый	23-25	28	30	22	20	40-60	70	0,1	0,1

Микроклимат производственных помещений поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

7.3.2 Уровень шума на рабочем месте

Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека. Шум ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет прием и восприятие информации. Длительное воздействие шума большой интенсивности приводит к патологическому состоянию организма, к его утомлению. Интенсивный шум вызывает изменения сердечно-сосудистой системы, сопровождаемые нарушением тонуса и ритма сердечных сокращений, изменяется артериальное кровяное давление.

Методы установления предельно допустимых шумовых характеристик

оборудования для сварки изложены в ГОСТ 12.1.035–81. Шум на рабочих местах также может проникать извне через каналы вентиляции и проем двери из кабинета в коридор. Для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в децибелах (дБ), в активных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром.

По характеру спектра в помещении присутствуют широкополосные шумы. Источник шумов – электродвигатели в системе охлаждения. Для рабочих помещений административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещений для измерительных и аналитических работ уровень звука не должен превышать 50 дБА, СН 2.2.4/2.1.8.562-96.

Уменьшение влияния данного фактора возможно путём:

- 1) Изоляции источников шумов;
- 2) Проведение акустической обработки помещения;
- 3) Создание дополнительных ДВП или ДСП изоляционных перегородок.

7.3.3 Освещенность рабочей зоны

Рациональное освещение имеет большое значение для высокопроизводительной и безопасной работы. Нормирование значений освещенности рабочей поверхности при сварочных работах помещения составляет 200 лк (СНиП 23-05-2010).

Различают естественное и искусственное освещение.

Естественное – обуславливают световым потоком прямых солнечных лучей и диффузионным световым потоком прямых солнечных лучей, и диффузионным светом неба, т.е. многократным отражением солнечных лучей от мельчайших взвешенных в атмосфере частиц пыли и воды.

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов – от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного

процесса (таблица 19).

Согласно СНИП 23-05-2010 значение коэффициента естественной освещенности (КЕО) в производственных цехах с комбинированным освещением для общего наблюдения за ходом производственного процесса составляет 0,2.

Искусственное освещение осуществляется светильниками общего и местного освещения. Светильник состоит из источника искусственного освещения (лампы) и осветительной арматуры. Основными источниками искусственного освещения являются лампы накаливания и люминесцентные лампы.

Для производственных помещений, а также научно-технических лабораторий коэффициент пульсаций освещенности (K_p) должен быть не больше 10%.

Таблица 19 – нормируемые значения КЕО (по СНИП 23-05-2010)

Характеристика выполняемой зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Значение КЕО в при совместном освещении, %	
			верхнем и комбинированном	боковом
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	6	2
Очень высокой точности	0,15 ... 0,30	II	4,2	1,5
Высокой точности	0,3 ... 0,5	III	3	1,2
Средней точности	от 0,5 до 1,0	IV	2,4	0,9
Малой точности	от 1 до 5	V	1,8	0,6
«Грубая работа»	Более 5	VI	1,8	0,6
Работа с самосветящимися телами и изделиями в горячих цехах		VII	1,8	0,6
Общие наблюдения за ходом производственного процесса:		VIII	1,8	0,6
периодическое при постоянном пребывании людей в помещении	-	VIIIa	0,7	0,2
периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		VIIIб	0,5	0,2
Общее наблюдение за инженерными коммуникациями		VIIIв	0,2	0,1

Недостаточная освещенность может быть вызвана ошибочным расположением ламп в помещении, отсутствием окон в помещении, не правильным выбором количества осветительных приборов и не рациональной нагрузкой на них электрического тока. Данный фактор может стать причиной неадекватного восприятия человека технологического процесса, его утомления, а также вызвать пульсирующие головные боли.

В целях уменьшения пульсаций ламп, их включают в разные фазы трехфазной цепи, стабилизируют постоянство прохождения в них переменного напряжения. Но самым рациональным решением данного вредного фактора является изначально правильное расположение и подключение источников света в помещении, путем замеров освещенности, при помощи люксметра, и сравнения полученных результатов с нормативными документами.

7.3.4 Электрический ток

Все оборудование должно быть выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ Р 12.1.019-2009.

Основными причинами поражения электрическим током могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

- перед включением установки должна быть визуально проверена ее электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей держателей электродов;
- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети установку;
- при включении установки следует позаботиться, чтобы руки не были влажными.

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, электрозащитные средства.

Среди распространенных способов защиты от поражения электрическим током при работе с электроустановками различают:

- защитное заземление – предназначено для превращения «замыкания на корпус» в «замыкание на землю», с тем, чтобы уменьшить напряжение прикосновения и напряжение шага до безопасных величин (выравнивание самый распространенный способ защиты от поражения электрическим током;
- зануление – замыкание на корпус электроустановок;
- системы защитного отключения – отключение электроустановок в случае проявления опасности пробоя на корпус;
- защитное разделение сетей;
- предохранительные устройства.

К работам на электроустановках допускаются лица, достигшие 18 лет, прошедшие инструктаж и обученные безопасным методам труда. К тому же электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Целесообразно каждому работнику знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

7.3.5 Движущиеся часть установки для сварки неплавящимся электродом

Источником возникновения аварий, связанных с телесными повреждениями и материальным ущербом при работе с установкой, являются подвижная часть машины.

Аварии происходят, прежде всего, во время ручного устранения нарушений производственного процесса. Тем не менее, люди могут оказаться на пути движения машин и механизмов при выполнении других заданий, таких как:

- чистка,
- регулировка,
- переналадка вылета электродов,
- контроль,

– ремонт.

Наиболее распространенной, принимаемой в этой связи с целью повышения личной безопасности, является защита человека от опасных движений машины с помощью некоторых видов устройств безопасности, таких как защитные ограждения машин, за исключением частей, ограждение которых не допускается функциональным их назначением. Внутренние движущиеся детали таких машин должны быть недоступны для прикосновения, а наружные движущиеся детали не должны иметь острых выступов, острые кромки должны быть притуплены.

Утечка аргона из баллона может способствовать наступлению смерти от удушья. Это может быть связано значительным снижением в воздухе объема кислорода в замкнутом пространстве. Если объем аргона в воздухе будет превышать 70% (P3), то человек может подвергнуться, так называемому, наркозу. В связи с тем, что этот газ тяжелее воздуха, это может привести к накоплению его в помещениях, которые трудно проветривать. Если требуется проводить работы в среде с аргоном, то в этом случае рекомендуется использовать противогазы и изолирующие приборы, проветривать помещение.

7.4 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрану природы можно представить, как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы, восстановление, улучшение и охрану природных ресурсов.

Работа в производственных помещениях сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов. Газообразные отходы,

загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения и др. органов дыхания человека; бытовая пыль; аргон, гелий и другие защитные газы, применяющиеся при сварке неплавящимся вольфрамовым электродом. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

При обращении с твердыми отходами (огарки вольфрамового электрода) в ходе их непригодности выкидывались в контейнер. Бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014): бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных

ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из неадсорбирующего ртуть материала (винипласта).

7.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации относятся к совокупности опасных событий или явлений, приводящих к нарушению безопасности жизнедеятельности. К ним относятся: высокие и низкие температуры, физическая нагрузка, поражающие токсичные дозы сильнодействующих ядовитых веществ, высокие дозы облучения, производственные шумы и вибрации и многое другое могут приводить к нарушению жизнедеятельности человека.

При написании дипломного проекта была выявлена возможная ЧС, это пожар, аргон – вещество негорючее, но при нагревании происходит повышение давления, что может привести к взрыву баллона.

Пожарная безопасность – состояние объекта, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных его факторов и обеспечивается защита материальных ценностей.

Противопожарная защита – это комплекс организационных и технологических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения

пожара и системой пожарной защиты. Во всех помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала при возникновении очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники.

С целью предотвращения пожаров необходимо:

1. Уходя из помещения проверить отключения всех электронагревательных приборов, электроустановок, а также силовой и осветительной сети.
2. Курить только в отведенных для курения местах.
3. Проверять уровень нормы газа аргона в помещении, проветривать помещение.
4. В случае возникновения пожара приступить к его тушению имеющимися средствами, эвакуироваться и вызвать по телефону «01», сотовый «010» пожарную службу.
5. Сотрудники должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной площадке.

В производственных помещениях проходит большое количество проводов и большое количество электроприборов. Не правильная изоляция данных проводов, или отсутствие заземления может привести к поражению человека или к возникновению возгораний.

В целях безопасности в помещениях имеются рубильники для полного обесточивания помещения, а также изоляция проводов, защитное состояние сети и применение защитных устройств (сетевые фильтры, автоматические выключатели). Осуществляется дистанционный контроль количества кислорода в окружающем воздухе с помощью приборов. Согласно нормам, в воздухе должно присутствовать не меньше 19 % кислорода.

Заключение

В ходе выполнения бакалаврской работы был проведен анализ современного лазерного оборудования для послойного выращивания металлических изделий. Было установлено, что данное оборудование недостаточно производительное. Лазерное оборудование подразумевает высокие материальные затраты, а именно: стоимость оборудования, расходных материалов, ремонтных работ, а так же высокую квалификацию сварщика-оператора.

Исходя из данной проблемы, была разработана импульсная система питания для аддитивного процесса наплавки изделия неплавящимся электродом с присадочной проволокой в среде аргона. Так же собрана установка для наплавки на подложку в виде вращающейся трубы, с применением блока автоматического управления напряжением дуги. Это в свою очередь обеспечивает поднятие головки при прохождении слоя.

Экспериментальная проверка показала соответствие первоначальных представлений о процессе наплавки: форме наплавки и работы АРНД. Установлено что высота поднятия сварочной головки от слоя к слою имеет то же значение, что и высота предыдущего слоя. За всё время экспериментов не было установлено проплавления сварочной ванны, что свидетельствует о надёжности работы элементов и узлов установки.

Результаты работы в полной мере показывают необходимость продолжения исследований по данной теме, так как совершенствование технологии аддитивной наплавки в последующем может найти применение для массового производства изделий в промышленных масштабах.

Внедрение разработанной технологии в производство возможно после проведения опытов и различных видов контроля.

Список использованных источников

1. Зленко М.А., Нагайцев М.В. Аддитивные технологии в машиностроении. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
2. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. Пособие для вузов. – М.: МГТУ, 2006. – 664с.
3. Безобразов Ю.А., Зотов О.Г. Анализ структуры образцов, полученных DMLS и SLM-методами быстрого прототипирования // 6-я Международная молодежная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении». – Екатеринбург: Урал. – 2012. – С. 154-157.
4. Тимирязев В.А., Использование аддитивных технологий для изготовления деталей машин // Машиностроение. – 2018. – №11. – С. 136-144.
5. Безобразов Ю.А. Анализ структуры образцов, полученных DLMS и SLM методами быстрого прототипирования // Машиностроение. – 2018. – №11. – С. 154-157.
6. Славин Г.А., особенности дуги питаемой кратковременными импульсами тока // Сварочное производство. – 1967г. – №2. – С. 3-5.
7. Ленивкин В.А., Дюргеров Н.Г. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
8. Князьков А.Ф., Веревкин А.В., Князьков С.А. Особенности удержания сварочной ванны в положениях отличных от нижнего. // IV Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы машиностроения» г. Томск Изд-во ТПУ, – 2008. – С. 323–328.

9. Князьков В.Л., Княльков А.Ф. Повышение эффективности ручной дуговой сварки трубопроводов. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет, 2008.

– 103 с.

10. Барабохин Н.С., Шиганов Н.В. Газодинамическое давление открытой импульсной дуги. // Сварочное производство. – 1976. – №2.

– С. 4-6.

11. Столпнер Е.А., Славин Г.А. Методика определения динамического давления импульсной дуги. // Сварочное производство.

– 1971. – №9. – С. 8-10.

12. Данилов В.А., Чернышов Г.Г. О механизме воздействия импульса тока на ванну. // Сварочное производство. – 1974. – №4. – С. 54-56.

13. Бертинов А.И., Мизюрин С.Р., Сериков В.А., Геворкян Р.Л. Энергетика процесса заряда конденсатора от генератора переменного тока через выпрямитель. // Электричество. – 1967. - №8.- С. 54-61.